

Федин К.А.
(ГВУЗ «КНУ»)

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ УДАРНЫХ ВОЗДУШНЫХ ВОЛН ПРИ
ПРОВЕДЕНИИ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА КАРЬЕРЕ ОАО «ЮГОК»**

Федін К.А.
(ДВУЗ «КНУ»)

**ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ УДАРНИХ ПОВІТРЯНИХ ХВИЛЬ ПРИ
ПРОВЕДЕННІ МАСОВИХ ВИБУХІВ НА КАР'ЄРІ ВАТ «ЮГОК»**

Fedin K.A.
(SHEI "KNU")

**DEFINITION OF SHOCK WAVE POWER AT MASS BLASTS
IN THE OJSC "YuGOK" PIT**

Аннотация. Технологический процесс дробления крепких пород осуществляется с применением буровзрывных работ. Массовые взрывы в карьерах существенно влияют на состояние сооружений и технологических объектов, которые расположены в зоне действия взрывной волны. Поэтому определение величины ударных воздушных волн при проведении массовых взрывов является актуальным.

Приведены результаты мониторинга уровня ударных воздушных волн при производстве массовых взрывов на карьере ЮГОКа в 2009-2010 годах. Установлено, что их фактический уровень составлял не более 10-36%, от предельно допустимого значения. Показано, что использование качественной забойки позволяет осуществлять массовые взрывы в любую погоду и в любое время года на расстоянии не менее 400 метров от жилых домов без ущерба для их остекления.

Полученная эмпирическая зависимость избыточного давления во фронте ударной волны от величины приведенного заряда ВВ позволяет определять безопасные параметры массовых взрывов при их проектировании.

Ключевые слова: открытые горные работы, массовые взрывы, ударные воздушные волны.

Постановка научной задачи. Ударные воздушные волны, возникающие при проведении массовых взрывов на карьерах, представляют серьезную опасность, как для людей, так и для жилых и промышленных зданий находящихся в непосредственной близости от взрыва. Особенно опасными эти негативные проявления становятся в том случае, когда массовые взрывы производятся в непосредственной близости или в пределах санитарно-защитных зон, установленных возле карьеров. Именно такое положение сложилось при строительстве траншеи глубокого ввода железнодорожного транспорта на восточном борту карьера Южного ГОКа, который непосредственно примыкает к жилому поселку комбината (район Матреновка) и характерен наличием в нем ряда архитек-

турных памятников и объектов социально-культурного предназначения.

Анализ ранее выполненных работ. Известно, что в результате любого взрыва возникает ударная волна, которая распространяется в воздухе со сверхзвуковой скоростью и характеризуется скачкообразным увеличением давления, плотности и температуры [1]. При удалении ударной волны от центра взрыва интенсивность ее падает, скорость распространения уменьшается и, в конечном счете, она переходит в обычную звуковую волну.

Общим критерием безопасности людей и сооружений во время действия на них ударной воздушной волны является избыточное давление в ее фронте, под которым понимается разница между максимальным давлением воздуха во фронте волны и атмосферным давлением. Допустимым избыточным давлением во фронте ударной воздушной волны является такое его значение, при котором полностью гарантируется безопасность для здоровья людей и сохранения застекления жилых домов и промышленных сооружений.

В соответствии с требованиями правил безопасности допустимое избыточное давление во фронте ударной воздушной волны на человека не должно превышать 10 кПа [4]. Влияние ударной воздушной волны на жилые дома и промышленные сооружения определяется по условию сохранения застекления, а избыточное давление на фронте ударной волны при этом в любых условиях не должно превышать 0,5 кПа [4].

Существует несколько методик теоретического определения избыточного давления во фронте ударной воздушной волны.

В соответствии с результатами работ [1, 3, 5], избыточное давление во фронте ударной воздушной волны при всех видах используемых зарядов может быть определено из следующей формулы

$$\Delta P = 4,7 \cdot 10^5 \cdot K_m \cdot K_M \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{Q_3}}{r} \right)^{1.5}, \text{ Па} \quad (1)$$

где K_m – коэффициент, который зависит от физико-механических свойств подрывааемых горных пород; K_M – коэффициент который учитывает метеорологические условия во время взрыва; Q_3 – эквивалентная масса заряда ВВ, кг; r – расстояние от массового взрыва до точки наблюдения, м.

Для определения эмпирических параметров K_m и K_M рассчитаны специальные таблицы [1, 2].

В соответствии с методикой ГП «НИГРИ» [2] величину давления во фронте ударной воздушной волны для Криворожского региона рекомендуется определять по следующей формуле

$$\Delta P = 0,2 \cdot 10^5 \cdot \frac{\sqrt[3]{Q_3}}{r}, \text{ Па} \quad (2)$$

Полученное из этой формулы значение параметра ΔP , в условиях низкой облачности, сильного тумана и ветра в направлении охраняемого объекта, необходимо увеличить в соответствии с рекомендациями работы [2], на такую величину

$$\Delta P_6 = \Delta P + 1000 V, \text{ Па} \quad (3)$$

где V - скорость ветра, м/с.

Расчет безопасных расстояний от воздействия ударных воздушных волн на застекление производится на базе вышеприведенной методики определения избыточного давления во фронте ударной воздушной волны.

Методика экспериментов. Так как в соответствии с решением Криворожского городского совета проведение массовых взрывов на карьерах Криворожского бассейна разрешается только при условии, что проектное значение величины ΔP не превышает предельного значения в 500 Па, то каждый массовый взрыв производится только при условии производства экспериментальных работ по определению фактического уровня ударных воздушных волн.

Для измерения силы ударных воздушных волн с 2000 года на карьере ЮГОКа использовался метод регистрации, основанный на принципе непосредственного измерения деформаций anerоидной коробки барографа М22А, который прошел соответствующую метрологическую поверку рабочего элемента в ГП «Кривбассметрология».

Внешний вид осциллограммы ударных воздушных волн полученной возле дома № 55 по ул. Айвазовского во время проведения массовых взрывов на карьере ЮГОКа 24 февраля 2010 года приведен на рис. 1.

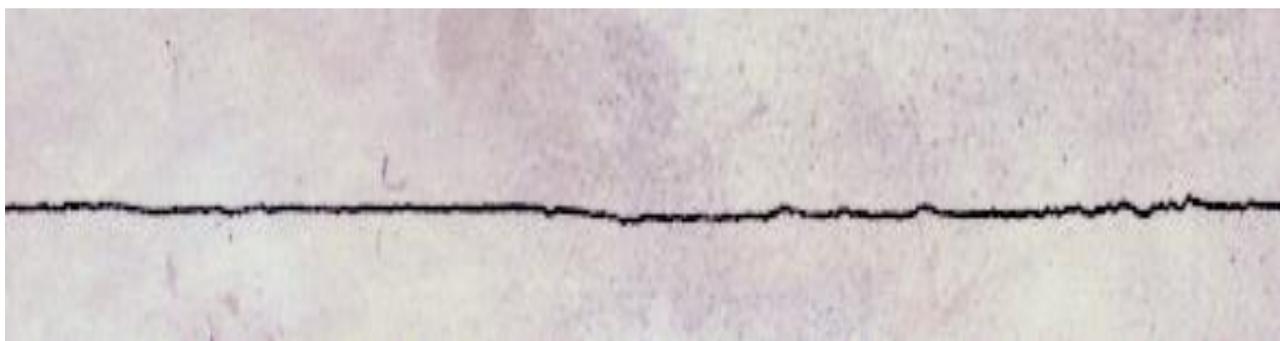


Рис. 1 - Копия осциллограммы ударных воздушных волн возле дома № 55 по ул. Айвазовского во время проведения массовых взрывов на карьере ЮГОКа 24 февраля 2010 г.

Результаты выполненных работ по определению уровня ударных воздушных волн в районе поселка Матреновка при производстве массовых взрывов на карьере ЮГОКа в 2009-2010 годах приведены в табл. 1.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы.

1. Избыточное давление ΔP во фронте ударной воздушной волны практически не зависит от времени года (см. рис. 2).

На значение параметра ΔP климатические условия (температура воздуха, влажность, скорость ветра) безусловно оказывают влияние, однако оно фактически оказалось незначительным и не было зафиксировано регистрирующей аппаратурой. Данные, приведенные на рис. 2 показывают, что при любых изменениях климатических условий фактическое значение параметра ΔP было почти вчетверо меньше предельного значения.

Таблица 1 - Результаты определения уровня ударных воздушных волн при проведении массовых взрывов на карьере «ЮГОК» в 2009-2010 годы

Дата взрыва	Расстояние до блока r, м	Масса ВВ на ст. замедления q, кг	Теорет. значение, ΔP , Па	Приведенный заряд ВВ $\rho, \sqrt[3]{\text{кг/м}}$	Фактич. значение, ΔP , Па
09.01.2009	1400	768	130,8	0,00654	100
25.02.2009	1700	900	113,6	0,00568	80
11.02.2009	1600	1400	139,8	0,00699	80
11.03.2009	1700	1600	137,6	0,00688	80
25.03.2009	1450	2600	189,6	0,00948	100
08.04.2009	1400	1600	167,0	0,00835	50
29.04.2009	1250	1600	187,2	0,00936	50
27.05.2009	1800	1540	128,4	0,00642	50
17.06.2009	1450	1600	161,4	0,00807	80
08.07.2009	1800	1540	128,4	0,00642	20
22.07.2009	1900	900	101,6	0,00508	80
12.08.2009	1650	900	117,0	0,00585	50
26.08.2009	1500	830	125,4	0,00627	50
23.09.2009	1600	1400	139,8	0,00699	50
07.10.2009	1750	1600	133,6	0,00668	80
21.10.2009	1350	2300	195,6	0,00978	50
11.11.2009	2050	1280	106,0	0,00530	50
25.11.2009	1100	1600	212,6	0,01063	100
23.12.2009	1800	1600	130,0	0,00650	50
13.01.2010	1750	1600	133,6	0,00668	80
27.01.2010	975	1600	240,0	0,01200	50
24.02.2010	1850	3180	212,6	0,01063	120
17.03.2010	1750	1600	133,6	0,00668	100
31.03.2010	1300	1440	173,8	0,00869	100
14.04.2010	1250	1600	187,2	0,00936	100
28.04.2010	1200	1600	195,0	0,00975	100
12.05.2010	1100	1600	212,6	0,01063	50
09.06.2010	1500	1730	160,0	0,00800	50
23.06.2010	1400	740	129,2	0,00646	80
07.07.2010	1450	740	124,8	0,00624	50
21.07.2010	1200	860	158,4	0,00792	100
04.08.2010	1225	800	151,6	0,00758	50
18.08.2010	1400	800	132,6	0,00663	120
08.09.2010	1175	800	158,0	0,00790	50
22.09.2010	1350	800	137,6	0,00688	50
06.10.2010	1200	900	161,0	0,00805	50
27.10.2010	1750	900	99,0	0,00495	80
10.11.2010	1250	770	104,8	0,00524	50
22.12.2010	1300	1300	142,8	0,00714	50
Средне знач.	1493,5	1354,5	151,2	0,00756	75,0
Отклонение	274,4	529,1	35,3	0,00176	20,6
Ошибки, %	18,4	39,1	23,3	23,3	27,5

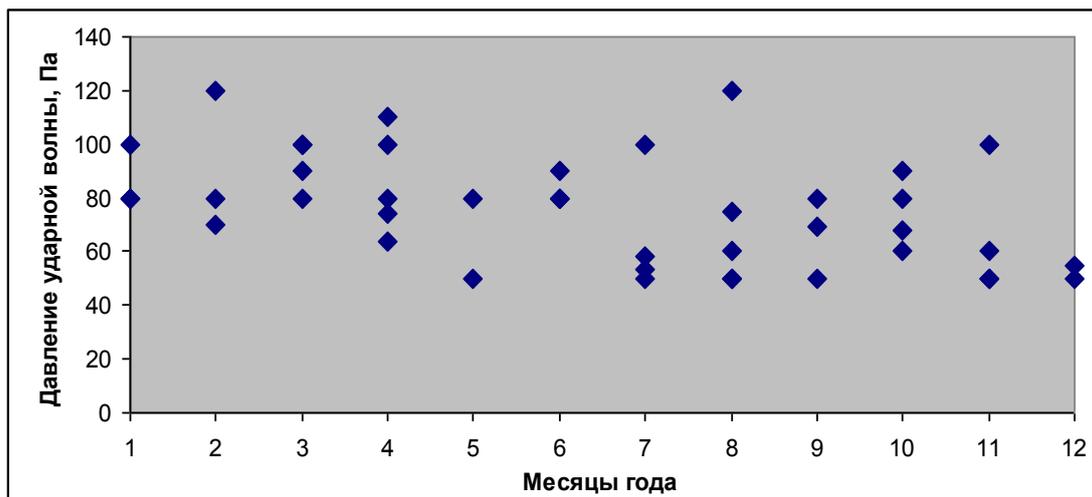


Рис. 2 - Изменение величины избыточного давления во фронте ударной волны в районе Матреновки в зависимости от месяцев года при производстве массовых взрывов на карьере ЮГОКа

Учитывая, что предсказать ожидаемые к моменту массового взрыва климатические условия за 2 – 3 месяца (срок начала проектирования массового взрыва) практически невозможно, и основываясь на выше приведенных фактах, было рекомендовано не учитывать время года при проектировании параметров массовых взрывов в районе строительства траншеи глубокого ввода на восточном борту карьера ЮГОКа.

2. Установлено, что избыточное давление ΔP во фронте ударной воздушной волны в районе Матреновки при производстве массовых взрывов на карьере ЮГОКа, линейно возрастает с ростом величины приведенного заряда ВВ (см. рис. 3). Данная зависимость аппроксимируется линейной зависимостью следующего вида

$$\Delta P = 8455 \cdot \frac{\sqrt[3]{Q}}{r} + 11, \text{ Па} \quad (4)$$

Качество аппроксимации данной зависимости $R^2 = 0,623$.

Сопоставление данной эмпирической зависимости с теоретической зависимостью построенной на основании аналитического выражения (2) показывает их удовлетворительное соответствие. В обоих случаях явно выражена прямо пропорциональная зависимость, однако экспериментальные данные оказались на 30 – 120 % меньше теоретически рассчитанных значений.

Учитывая, что при определении параметров взрывных блоков при строительстве траншеи глубокого заложения практически все скважины имеют разную глубину, разную длину забойки, разную массу ВВ, то использование классической методики определения параметра ΔP рекомендованной в работе [2], становится затруднительным и не всегда возможным.

Поэтому более рационально при практическом проектировании массовых взрывов в условиях ограниченной рабочей зоны для определения ожидаемой величины параметра ΔP , использовать экспериментальную зависимость вида (4). Это позволит существенно уменьшить трудозатраты на производство математических вычислений и получить более надежные и достоверные результаты.

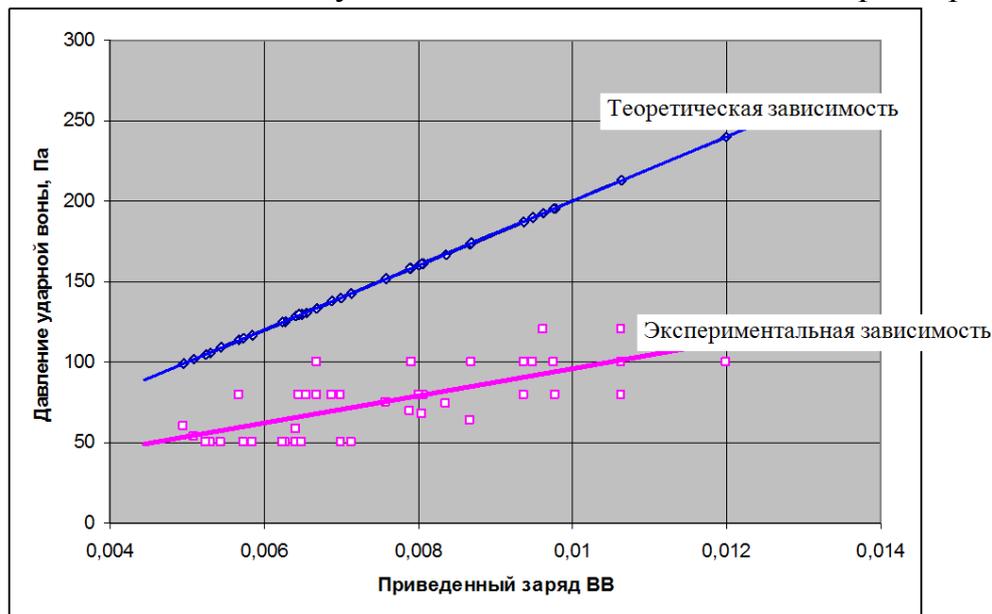


Рис. 3 - Зависимость избыточного давления во фронте ударной волны от величины приведенного заряда ВВ при производстве массовых взрывов на карьере ЮГОКа

Выводы. На основании всего вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- фактический уровень ударных воздушных волн при производстве массовых взрывов на карьере ЮГОКа за отчетный период, составлял не более 10 - 36%, от предельно допустимого значения;
- современная технология ведения буровзрывных работ с использованием качественной забойки, позволяет осуществлять массовые взрывы в любую погоду и в любое время года на расстоянии не менее 400 метров до жилых домов без ущерба для остекления этих зданий;
- полученная эмпирическая зависимость избыточного давления во фронте ударной волны от величины приведенного заряда ВВ для условий карьера ЮГОКа позволяет оперативно, без громоздких математических вычислений определять безопасные параметры массовых взрывов при их проектировании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурин, А.А. Управление ударными воздушными волнами при взрывных работах / А.А. Гурин. –М.: Недра, 1978 г. – 80 с.
2. Параметры ударных воздушных волн и методы их снижения при массовых взрывах на карьерах. Кривой Рог, НИГРИ, 1984. – 75 с.
3. Цейтлин, Я.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов / Я.И. Цейтлин, Н.И. Смолий. –М.: Недра, 1981. – 192 с.
4. Единые правила безопасности при взрывных работах: ДНАОП 0.00-1.17-92. –К, Изд-во «Норматив», 1992. – 63 с.
5. Правила проведення гірничих вибухів. Норми безпечності сейсмічних коливань ґрунту.

ДСТУ-П 4704:2006, -Київ, Держспоживстандарт України, 2007 р.

REFERENCES

1. Gurin, A.A. (1978), *Upravlenie udarnymi vozduzhnymi volnami pri vzryvnykh rabotakh* [Management of shock airwaves from blasting], Nedra, Moskva, Russia.
2. Parameters of shock waves of air and methods to reduce them under massive explosions in quarries (1984), NYGRE, Kryvyi Rih, Ukraine.
3. Zeitlin, J.A. and Smoliy, N.I. (1981), *Seismicheskie i udarnye vozduzhnye volny promyshlennykh vzryvov* [Seismic and shock airwaves industrial explosions], Nedra, Moscow, Russia.
4. Uniform rules for safety during blasting operations: DNAOP 0.00-1.17-92 (1992), Publishing House of the "Standard", Kiev, Ukraine.
5. Terms of mining explosions. The safety standards of seismic ground motion: DSTU 4704:2006-P (2007), Derzhspozhivstandart, Kiev, Ukraine.

Об авторах

Федин Константин Анатольевич, аспирант кафедры «Открытые горные работы», Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет», Кривой Рог, Украина.

About the authors

Fedin Konstantin Anatolievich, Post Graduate Student of the Department of "Open-pit mining" of Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine.

Анотація. Технологічний процес дроблення міцних порід здійснюється із застосуванням буропідричних робіт. Масові вибухи в кар'єрах істотно впливають на стан споруд і технологічних об'єктів, які розташовані в зоні дії вибухової хвилі. Тому визначення величини ударних повітряних хвиль при проведенні масових вибухів є актуальним.

Наведено результати моніторингу рівня ударних повітряних хвиль при виробництві масових вибухів на кар'єрі Південного ГЗК у 2009-2010 роках. Встановлено, що їх фактичний рівень становив не більше 10-36%, від гранично допустимого значення. Показано, що використання якісної забілки дозволяє здійснювати масові вибухи в будь-яку погоду і в будь-який час року на відстані не менше 400 метрів від житлових будинків без шкоди для їх скління.

Отримана емпірична залежність надлишкового тиску у фронті ударної хвилі від величини приведенного заряду ВР дозволяє визначати безпечні параметри масових вибухів при їх проектуванні.

Ключові слова: відкриті гірничі роботи, масові вибухи, ударні повітряні хвилі.

Abstract. Technological process of hard rock crushing is usually performed by drilling and blasting. Mass explosions in quarries significantly affect the condition of facilities and technological objects, which are located in the area of the blast. Therefore, specifying of power of the impact air waves at mass explosions is a strong business case for today.

Results of monitoring of the air shock wave power at mass explosions in the YuGOK quarry in 2009-2010 are presented. It is stated that the wave actual power was not more than 10-36% of maximum permissible value. It is shown that use of packing material of proper quality provides a possibility to produce mass explosions at any weather in any season of the year at a distance of at least 400 meters from residential buildings without any damages of the window glasses.

The resulting empirical dependence of excess pressure in the shock front on the explosive charge power allows to ensure safety parameters while calculating mass explosions.

Keywords: open-pit mining, massive blast, shock air wave.

Статья поступила в редакцию 30.08.2013
Рекомендовано к публикации д.т.н., проф. Е.А. Несмашным